



شبیه‌سازی تأثیر تغییر دبی تولیدی و تزریق گازهای مختلف بر میزان تولید و اشباع میعانات گازی

محمد ریاحین^۱، دانشگاه شیراز

غلامحسین منتظری^۲، دانشجوی دکتری دانشگاه تهران

چکیده

مخازن گازی را می‌توان به مخازن گاز خشک، مخازن گاز تر و مخازن گازی میعانی تقسیم‌بندی کرد. در مخازن گازی میعانی، هنگامی که فشار مخزن به زیر فشار نقطه شبنم برسد، در اثر میعان معکوس، گاز در مخزن به مایع تبدیل می‌شود. این میعانات بسیار باارزش بوده و در صنعت و زندگی روزمره، کاربرد بسیار زیادی دارند؛ چنانچه این میعانات در مخزن باقی بمانند و تولید نشوند، نه تنها هرز می‌روند، بلکه در اثر تجمع آن‌ها در نزدیکی دیواره چاه، مسیر عبور سیال از مخزن به دهانه چاه مسدود شده و در نتیجه توانایی تولید از چاه کاهش می‌یابد. تغییرات دبی تولیدی و هم‌چنین تزریق گاز، از جمله روش‌های کاربردی و مورد مطالعه برای جلوگیری و کاهش میزان تولید میعانات در مخزن می‌باشند. در این مقاله به بررسی تأثیر تغییرات دبی تولیدی چاه و هم‌چنین تزریق گازهای مختلف بر میزان تولید میعانات و درصد اشباع میعانات تولید شده در مخزن پرداخته می‌شود.

مخازن گازی میعانی، تزریق گاز، تغییرات دبی تولیدی چاه، شبیه‌سازی، افزایش برداشت میعانات

واژه‌های کلیدی

مقدمه

تزریق گاز به مخزن را می‌توان از همان ابتدا در فشار اولیه مخزن انجام داد (تثبیت کلی فشار مخزن). هم‌چنین این عملیات می‌تواند بعد از این‌که فشار مخزن به زیر فشار نقطه شبنم رسید، برای تبخیر و حمل میعانات گازی تشکیل شده در مخزن (تثبیت جزئی فشار مخزن) انجام شود [۴،۶]. سال‌هاست که برای افزایش میزان بازیافت در مخازن گازی میعانی از روش بازگردانی گاز استفاده می‌شود. از طرفی، افزایش کاربردهای گاز طبیعی و بالا رفتن ارزش و قیمت آن، محققین را بر آن داشته است که برای تزریق گاز به مخزن، به دنبال جایگزین مناسبی باشند. تغییرات دبی تولیدی و هم‌چنین تزریق گاز، از جمله روش‌های کاربردی و مورد مطالعه برای جلوگیری و کاهش میزان تولید میعانات در مخزن و افزایش تولید آن‌ها در سطح می‌باشد. در این مطالعه با استفاده از شبیه‌سازی ترکیبی، به بررسی تأثیرات تغییر دبی تولیدی و هم‌چنین تزریق گازهای مختلف بر میزان تولید میعانات گازی و درصد اشباع میعانات تولیدی مخزن در یکی از مخازن شکافدار جنوب ایران پرداخته شده است.

۱. مدل حجمی مخزن و شبکه سلولی

مدل حجمی مخزن شکافدار گازی میعانی مورد نظر برای شبیه‌سازی، یک مدل تک‌چاهی است. این مدل به‌وسیله شبیه‌ساز ترکیبی Eclipse-300 ساخته شده است. ساختار این مدل Radial، $1 \times 1 \times 40$ می‌باشد.

در مخازن گازی میعانی در اثر کاهش فشار مخزن به زیر فشار نقطه شبنم، قسمتی از هیدروکربورهای سنگین مخزن، مایع می‌شوند؛ به این مایعات در اصطلاح، میعانات گازی گویند. در اثر افت فشار بیش‌تر مخزن، حجم مولی این میعانات کم کم افزایش یافته تا جایی که به بیش‌ترین حد ممکن برسد. این حجم مولی ماکزیمم را Maximum Liquid Drop Out گویند. از این نقطه به بعد، میزان حجم مولی میعانات کاهش می‌یابد. در مدیریت مخازن گازی سعی می‌شود که این میعانات در مخزن تشکیل نشوند؛ یا با توجه به ارزش اقتصادی فراوان آن‌ها، تلاش بر این است که تشکیل این میعانات روی سطح صورت پذیرد. برای جلوگیری از تولید میعانات در مخزن، باید همواره فشار مخزن در بالای فشار نقطه شبنم نگه داشته شود [۱،۲،۳]. از جمله روش‌های کاربردی و مهم در دست‌یابی به این امر، تزریق گاز به مخزن است. فرآیند تزریق گاز برای ازدیاد برداشت از مخازن گازی میعانی با اهداف ذیل یا به‌صورت ترکیبی از این اهداف انجام می‌شود:

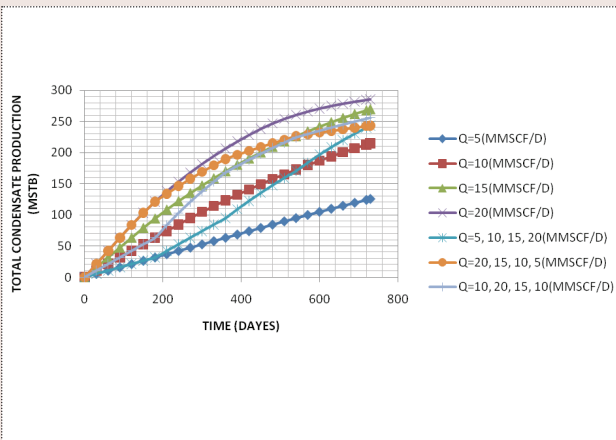
۱. تزریق گاز برای حفظ فشار مخزن در بالای نقطه شبنم و جلوگیری از تولید میعانات در مخزن
۲. تزریق گازهای سبک به مخزن به این منظور که گازها هم‌چون حاملی برای میعانات عمل کرده و باعث حل‌شدن اجزای سنگین سیال مخزن در خود شوند. این امر در نهایت منجر به افزایش تولید از مخزن و افزایش ضریب بازیافت می‌گردد [۷،۸،۹].

۳. تزریق گاز برای هدایت میعانات تولید شده در مخزن به سمت چاه تولیدی و افزایش بازده حجمی جارویی [۵،۸،۱۰].

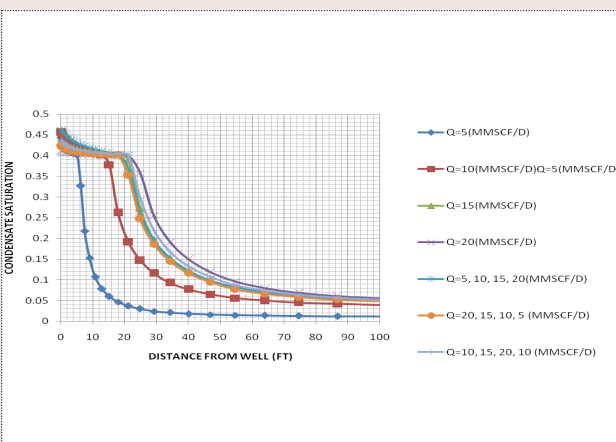
¹ Montazeri_Gh@yahoo.com

² Farid_mr2000@yahoo.com

³ Sweep displacement



شکل ۱ | کل تولید میعانات گازی بعد از گذشت ۲ سال تولید از مخزن در دبی‌های مختلف تولیدی از چاه



شکل ۲ | اشباع میعانات تولید شده در مخزن بر اساس فاصله از چاه (شعاع ۰ تا ۱۰۰ فوت) در دبی‌های مختلف تولیدی از چاه

با افزایش دبی تولیدی مخزن، تولید میعانات نیز افزایش می‌یابد. بیش‌ترین میزان تولید میعانات مربوط به زمانی است که دبی تولیدی ۲۰ MMSCF/D و کم‌ترین میزان نیز مربوط به دبی تولیدی ۵ MMSCF/D می‌باشد. با افزایش و کاهش تدریجی دبی تولیدی چاه، میزان کل تولید میعانات بعد از گذشت ۲ سال تقریباً مساوی است. هم‌چنین مشاهده می‌گردد که با افزایش ناگهانی دبی تولیدی چاه از ۱۰ MMSCF/D به ۲۰ MMSCF/D و مجدداً کاهش ناگهانی این دبی به ۱۰ MMSCF/D، میزان تولید میعانات بیش‌تر از حالت افزایش و کاهش تدریجی دبی می‌باشد. به این دلیل که با افزایش ناگهانی دبی تولیدی، سرعت حرکت سیال و در نتیجه تحرک‌پذیری میعانات افزایش یافته و تولید نیز افزایش می‌یابد.

⁴ Fine grid simulation

⁵ Wellbore storage

برای مدل کردن رفتار دقیق سیال گاز میعانی، شبکه سلول‌های نزدیک چاه به‌صورت خیلی ریز^۴ طراحی شده و اندازه سلول‌ها با دور شدن از چاه به‌صورت لگاریتمی افزایش یافته است. ضخامت عمودی مدل، ۱۸۰ فوت می‌باشد. چاه، درست در وسط مخزن و به‌صورت عمودی طراحی شده است. مقدار ضریب پوسته، صفر در نظر گرفته شده و اثرات ذخیره‌سازی چاه^۵، شبیه‌سازی نشده‌اند. تراوایی ماتریکس، معادل ۲ میلی‌داریسی و تراوایی شکاف نیز ۱۰۰۰ میلی‌داریسی و تخلخل ۰/۲ درصد می‌باشد. در این شبیه‌سازی برای محاسبه حجم مولی مایع از معادله حالت PR3 EOS استفاده شده است. در مدل شبیه‌سازی شده، فرضیات ذیل در نظر گرفته شده‌اند:

۱. مخزن یکنواخت ضعیف و ایزوتروپیک می‌باشد.
۲. ترکیب اولیه و فشار اولیه گاز در کل مخزن یکسان است.
۳. معادله حالت انتخاب شده برای تعیین رفتار دینامیکی سیال مخزن برای کل مخزن صادق است.
۴. فشار موپینگی و عامل تأثیر غیرداریسی ناچیز است.
۵. دما ثابت است.

۲. بحث و بررسی

در جدول ۱، لیست کامل سناریوهای مورد استفاده در این شبیه‌سازی ارائه گردیده است. سناریوهای این جدول شامل پارامترهایی از قبیل، دبی تولیدی چاه و گازهای مختلف تزریقی به مخزن می‌باشد. در ادامه به بررسی تأثیرات پارامترهای ذکر شده بر میزان تولید میعانات گازی و درصد اشباع میعانات تولیدی درون مخزن بر اساس فاصله از چاه پرداخته می‌شود.

۱-۲. میزان کل تولید میعانات گازی بعد از گذشت ۲ سال تولید از مخزن (بدون تزریق گاز)

در شکل ۱، میزان کل تولید میعانات گازی بعد از گذشت ۲ سال تولید از مخزن در سناریوهای مختلف، مورد بررسی قرار گرفته است. با توجه به این شکل،

جدول ۱ | لیست سناریوهای مورد استفاده در شبیه‌سازی

سناریو	مورد مطالعه شده
تغییر دبی تولید گاز	دبی تولیدی = ۵ MMSCF/D دبی تولیدی = ۱۰ MMSCF/D دبی تولیدی = ۱۵ MMSCF/D دبی تولیدی = ۲۰ MMSCF/D MMSCF/D: ۵، ۱۰، ۱۵، ۲۰: افزایش تدریجی دبی MMSCF/D: ۵، ۱۰، ۱۵، ۲۰: کاهش تدریجی دبی MMSCF/D: ۱۰، ۱۵، ۲۰، ۱۰: افزایش ناگهانی دبی
تزریق گازهای مختلف	تزریق N ₂ تزریق CO ₂ تزریق C ₂ عدم تزریق گاز



۲-۲. درصد اشباع میعانات تولیدی در مخزن بر اساس فاصله از چاه بعد از گذشت ۲ سال تولید از مخزن (بدون تزریق گاز)

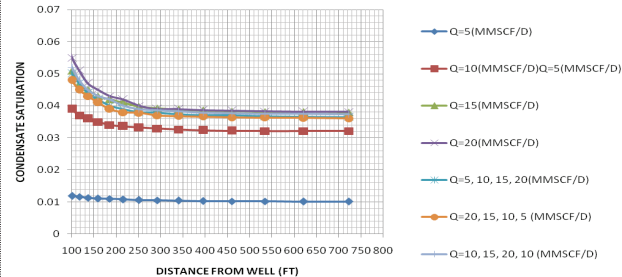
شکل ۲ نشان دهنده اشباع میعانات تولید شده در مخزن از دهانه چاه تا شعاع ۱۰۰ فوت و شکل ۳، نشان دهنده اشباع میعانات تولید شده در مخزن از شعاع ۱۰۰ فوت تا شعاع تخلیه مخزن (۷۲۲/۲۳ فوت) می باشد. این دو شکل سناریوهای طراحی شده میزان اشباع میعانات گازی را در دبی های مختلف و بر اساس فاصله از چاه نشان می دهند. با توجه به شکل ۲، میزان اشباع میعانات گازی تولیدی در مخزن در اطراف دهانه چاه بالا بوده و در محدوده ۰/۴ تا ۰/۴۵ درصد می باشد (تا شعاع ۲۰ فوتی از دهانه چاه). با دور شدن از دهانه چاه، درصد اشباع میعانات به سرعت کاهش می یابد و این روند تا شعاع ۳۰۰ فوتی ادامه دارد (شکل ۳). از این نقطه به بعد، تغییرات اشباع میعانات تقریباً ثابت می شود و تا شعاع تخلیه مخزن ادامه پیدا می کند. بیشترین درصد اشباع میعانات در مخزن مربوط به زمانی است که دبی تولیدی چاه ۲۰ MMSCF/D و کمترین میزان دبی، ۵ MMSCF/D می باشد. با افزایش دبی تولیدی از چاه، افت فشار مخزن افزایش می یابد؛ با افزایش افت فشار، میعانات بیش تری در مخزن تشکیل شده و در نتیجه، درصد اشباع میعانات در مخزن افزایش می یابد. همچنین علت بالا بودن درصد اشباع میعانات در دهانه چاه در هر یک از دبی های تولیدی، بالا بودن افت فشار در این ناحیه است. با دور شدن از دهانه چاه، به تدریج افت فشار مخزن کم تر شده و درصد اشباع میعانات کاهش می یابد.

۲-۳. میزان کل تولید میعانات گازی بعد از ۲ سال تولید از مخزن (با تزریق گاز)

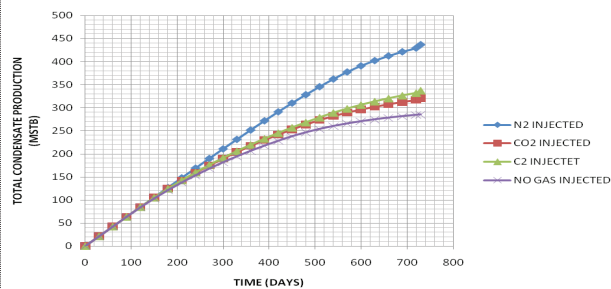
در این مرحله از شبیه سازی فرض می شود که دبی تولیدی مخزن ۲۰ MMSCF/D است. با حفر چاه تزریقی با دبی ۵ MMSCF/D در لایه ۴۰ (مرز مخزن)، در ۱ سال اول تولید از مخزن، طبق سناریوهای جداگانه، گازهای نیتروژن، دی اکسید کربن و اتان به مخزن تزریق شد. سپس میزان تولید میعانات گازی بررسی گردیده و با حالت بدون تزریق، مقایسه شد (شکل ۴). میزان تولید میعانات گازی در ۲۰۰ روز اول تولید در سناریوهای مختلف تقریباً یکسان است.

با توجه به شکل ۴، بعد از گذشت ۲ سال تولید از مخزن، بیشترین میزان تولید میعانات مربوط به زمانی است که نیتروژن به مخزن تزریق شده است؛ کمترین میزان تولید میعانات نیز مربوط به حالت بدون تزریق می باشد. بعد از نیتروژن، تزریق اتان و سپس دی اکسید کربن به ترتیب بیشترین راندمان تولید میعانات را دارا هستند. میزان تولید میعانات گازی در سناریوهای مختلف تزریق گاز به قرار ذیل است:

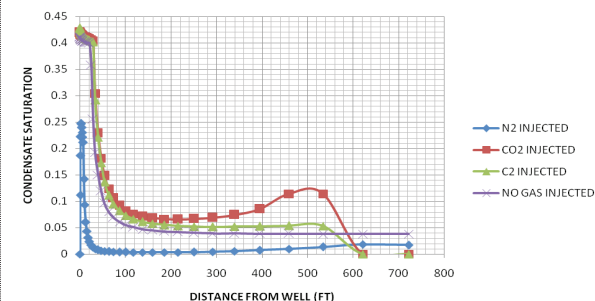
● میزان تولید میعانات گازی در حالت بدون تزریق بعد از گذشت ۲ سال تولید از مخزن، ۲۸۵/۴۵ MSTB می باشد.



شکل ۳ | اشباع میعانات تولید شده در مخزن بر اساس فاصله از چاه (شعاع ۱۰۰ تا ۷۲۲/۲۳ فوت) در دبی های مختلف تولیدی از چاه



شکل ۴ | کل تولید میعانات گازی بعد از گذشت ۲ سال تولید از مخزن با تزریق گازهای نیتروژن، دی اکسید کربن و اتان



شکل ۵ | اشباع میعانات تولید شده در مخزن بر اساس فاصله از چاه (شعاع ۱۰۰ تا ۷۲۲/۲۳ فوت) با تزریق گازهای نیتروژن، دی اکسید کربن و اتان



به علت افت شدید فشار در این ناحیه بسیار زیاد است و رفته رفته با دور شدن از دهانه چاه، درصد اشباع میعانات کاهش می‌یابد.

۶. تزریق گاز مؤثرترین راه برای افزایش بازیافت میعانات گازی است.

بیشترین میزان تولید میعانات مربوط به زمانی است که نیتروژن به مخزن تزریق شده است و کمترین میزان تولید میعانات مربوط به حالت بدون تزریق می‌باشد. بعد از نیتروژن، تزریق اتان و سپس دی‌اکسید کربن به ترتیب بیشترین راندمان تولید را دارا هستند.

۷. با تزریق گازهای اتان و دی‌اکسیدکربن به مخزن، اشباع میعانات درون مخزن نسبت به حالت بدون تزریق افزایش یافته و با تزریق نیتروژن به مخزن، اشباع میعانات درون مخزن نسبت به حالت بدون تزریق کاهش می‌یابد. توانایی نیتروژن برای حمل میعانات تولید شده در مخزن و افزایش تولید آن‌ها، بسیار بالاست.

● میزان تولید میعانات گازی با تزریق نیتروژن به مدت ۱سال، به میزان MSTB ۴۳۶/۹۱ افزایش می‌یابد (میزان افزایش نسبت به حالت بدون تزریق ۵۳/۱۱ درصد است).

● میزان تولید میعانات گازی با تزریق اتان به مدت ۱سال، به میزان MSTB ۳۳۷/۳۲۴ افزایش می‌یابد (میزان افزایش نسبت به حالت بدون تزریق ۱۸/۲۱ درصد است).

● میزان تولید میعانات گازی با تزریق دی‌اکسیدکربن به مدت ۱سال، به میزان MSTB ۳۲۰/۶۷۵ افزایش می‌یابد (میزان افزایش نسبت به حالت بدون تزریق ۱۲/۳۸ درصد است).

۴-۲. درصد اشباع میعانات تولیدی درون مخزن بر اساس فاصله از چاه بعد از گذشت ۲ سال تولید از مخزن (با تزریق گاز)

در این مرحله با حفر چاه تزریقی با دبی MMSCF/D ۵ در لایه ۴۰ (مرز مخزن)، طبق سناریوهای جداگانه، در مدت زمان ۱ سال اول تولید از مخزن، گازهای نیتروژن، دی‌اکسید کربن و اتان به مخزن تزریق شد، سپس میزان اشباع میعانات گازی بعد از گذشت ۲ سال تولید از مخزن، بر اساس فاصله از چاه مورد بررسی قرار گرفت. شکل ۵ نشان‌دهنده اشباع میعانات تولید شده در مخزن از دهانه چاه تا شعاع تخلیه مخزن (۲۲۲/۲۳ فوت) می‌باشد. با توجه به این شکل، میزان اشباع میعانات گازی تولیدی در مخزن، با تزریق گازهای مختلف تغییر می‌کند. به این صورت که با تزریق نیتروژن، میزان اشباع میعانات کم‌تر از حالت نرمال بدون تزریق است؛ زیرا نیتروژن توانایی بالایی برای حمل میعانات تولید شده در مخزن دارد و با تزریق به مخزن مانند حاملی برای میعانات عمل می‌کند. با حمل و تولید مقداری از میعانات، درصد اشباع میعانات درون مخزن کاهش می‌یابد. همچنین مشاهده می‌شود که با تزریق گازهای اتان و دی‌اکسیدکربن به مخزن، اشباع میعانات درون مخزن نسبت به حالت بدون تزریق بیش‌تر می‌گردد.

◆ نتیجه گیری

۱. انتخاب دبی تولیدی مناسب و بهینه برای افزایش تولید میعانات گازی، یک راه‌کار مناسب و عملیاتی است.
۲. افزایش دبی تولیدی چاه باعث افزایش تولید میعانات در یک زمان مشخص از تولید می‌شود.
۳. با افزایش دبی تولیدی، درصد اشباع میعانات تولید شده در مخزن افزایش می‌یابد؛ چون با افزایش دبی تولیدی چاه، افت فشار مخزن افزایش می‌یابد و با افزایش افت فشار، میعانات بیش‌تری در مخزن تشکیل می‌شوند و درصد اشباع میعانات در مخزن زیاد می‌شود.
۴. افزایش ناگهانی دبی تولیدی به‌علت افزایش تحرک‌پذیری میعانات از طریق ایجاد شوک ناشی از افزایش تولید، باعث کاهش درصد اشباع میعانات درون مخزن و افزایش تولید میعانات می‌شود.
۵. میزان اشباع میعانات گازی تولیدی در مخزن، در اطراف دهانه چاه

◆ منابع

- [1] Craft, B. C., Hawkins, M. F.: "Applied Petroleum Reservoir Engineering, Second Edition", Prentice-Hall, Inc., 1991, New Jersey, U.S.A.
- [2] Danesh, A.: "PVT and Phase Behavior of Petroleum Reservoir Fluid", Elsevier Science B.V., 1998.
- [3] McCain, W. D.: "The Properties of Petroleum Fluid", PennWell Publishing Co., 1990, Tulsa, Oklahoma.
- [4] Afidick, D., Kaczorowski, N.J. and Bette, S. (1994): Production Performance of Retrograde Gas Reservoir: A Case Study of the Arun Field, SPE 28749.
- [5] Al-Anzi, H.A., Pope, G.A., and Sharma, M.M.: Laboratory Measurement of Condensate Blocking and Treatment for Both Low and High Permeability Rocks, SPE 77546, 2002.
- [6] Al-Anzi, H.A., Walker, J.G., Pope, G.A., Sharma, M.M., Hackney, D.F. (2003): A Successful Methanol Treatment in a Gas-Condensate Reservoir: Field Application, SPE 80901.
- [7] Al-Hashim, H.S., Hashmi, S.S.: Long Term Performance of Hydraulically Fractured Layered Rich Gas Condensate Reservoir, SPE 64774, 2000.
- [8] Allen, F.H. and Roe, R.P.: Performance Characteristics Of a Volumetric Condensate Reservoir, Petroleum Transactions, AIME (1950), 189, 83---90.
- [9] Barnum, R.S., Brinkman, F.P., Richardson, T.W., and Spillete, A.G.: Gas Condensate Reservoir Behaviour: Productivity and Recovery Reduction Due to Condensation, SPE 30767, 1995.
- [10] Boom, W., Wit, K., Zeelenberg, J.P.W., Weeda, H.C., and Maas, J.G.: On the Use of Model experiments for Assessing Improved Gas Condensate Mobility under Near-Wellbore Flow Condition, APE 36714, 1996.